

# 전시 군수물자의 효율적 분배와 수송을 위한 TC 위치선정 방법론 연구

(Method of Location Decision for a Transfer Center Distributing a Necessary Resource Item while Considering Characteristics of the Material in Wartime)

† 정 병 호(Byung-Ho Jung)\*, 김 익 기(Ik-Ki Kim)\*\*

## 초 록

전시 공군은 각 지역에 거점부대를 선정하여 해당 지역에서 동원되는 품목별 물자를 인수하고, 물자가 부족한 지역의 거점부대에 잉여물자를 분배하여 전체 부대가 일정한 군수지원 수준을 유지할 수 있도록 계획하고 있다. 또한, 지역 거점부대는 해당지역에 주둔하고 있는 군소 운영부대들에 대한 DC(Distribution Center)의 역할도 담당하여 지역에서 동원되는 물자들과 타 지역 거점부대로부터 인수한 해당 지역 부족물자들을 군소 운영부대에 분배한다. 하지만, 전시 동원물자 수송은 물자가 많이 동원되는 지역의 거점부대가 물자가 적게 동원되는 부대로의 분배 및 수송을 책임지기 때문에 동원물자들의 생산특성에 따라 지역 거점부대별 수송부담의 불균형과 다빈도 수송으로 인한 수송 자산(병력, 수송수단)의 낭비를 가져오게 된다. 또한, 공군본부나 군수사령부와 같은 상급부대는 전체적인 동원물자의 분배와 수송을 효율적인 방향으로 조정 통제하는데 대한 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 해소하기 위해 특정지역에 TC(Transfer Center)를 설치하여 물자를 분배하고 수송하는 방법론을 제시하고자 한다.

## ABSTRACT

During wartime, the Air Force have to plan where, and how much, and what need to be distributed to surrounding local area from a chosen central bases. Each base, which has surplus more than needed amount of a certain material collected from near area of the base, is expected to distribute such surplus to other bases in shortage of it. By sending such surplus to other bases in shortage of the material, every base may get sufficient amount of all kinds of materials needed for each base during wartime. Because number of items of materials needed in each military bases during wartime are usually quite large and the frequencies of delivery from a place to other place are also pretty large if each item is delivered from a surplus place to other places in shortage, the Head Quarter of Air Force or the Logistics Command will face to difficulty to decide a reasonable delivery plan between bases for efficient and fast allocation of all materials needed to all bases during wartime. Therefore, this study suggests a solving algorithm with an established TC (transfer center: collecting and distributing center for all materials) to solve such a distribution and transportation problem.

**Keywords :** Wartime, TC(Transfer Center), Delivery Plan, Distribution and Transportation Problem

논문접수일 : 2009년 7월 15일      논문게재확정일 : 2009년 8월 26일

\* 한양대학교 대학원 교통공학과 박사과정

\*\* 한양대학교 공학대학 교통공학과 교수

† 교신저자

# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

분배문제에서 전체적인 시스템을 어떻게 운영할 것인가 하는 문제는 어떤 곳에 경영활동을 위한 거점을 마련하고 이들 거점을 어떻게 연결할 것인가에 대한 장기적이고 전략적인 의사결정이라고 할 수 있다. 분배문제의 가장 근간을 이루는 이 문제의 목적은 공급망 전체의 장기적인 최적화를 추구하는 것이고, 이를 위해서는 공급망 각지에 따로 떨어져 존재하는 고객, 분배센터, 공장, 공급처 등을 가장 적절하게 연결할 수 있어야 한다.

분배문제는 전체 공급망 상의 거점들에 대한 유기적이고 효율적인 네트워크가 구성되도록 하여 장기적인 의사결정을 뒷받침하기 때문에 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이다[7]. Geoffrion과 Graves[11]는 단일기간의 생산 및 분배문제를 해결하기 위한 알고리즘을 제안하였으며, Cohen et al.[8]은 국제적인 생산 및 분배 네트워크를 구성하는 문제를 고려하였고, 이를 확장하여 거점할당, 용량계획, 다양한 제품과 자재의 흐름을 구체화하였다. Mourits와 Ever[14]는 물류 흐름을 원활하게 하는 네트워크를 제안하여 분배센터 위치 설정이 얼마나 중요한지에 대해 강조하였으며, Ganeshan et al.[10]은 네트워크설계가 물류 흐름계획의 효율에 어떤 영향을 미치는가에 대해 분석하였다. 또한, Herer et al.[12]은 주로 운송 상황에 주안점을 두고 다양한 상황을 비교하였으며, Zhou et al.[17]은 공급사슬에서의 분배 네트워크를 설계하면서 유전 알고리즘을 활용하는 방법을 제시하였다. Ross와 Droge[16]는 네트워크 설계와 같은 문제를 풀 수 있는 모델링 기법을 제시하였으며, Melachrinoudis et al.[13]은 물리적 물동량을 고려하여 수리적으로 분배센터 네트워크를 구성하는 문제를 보여주었다.

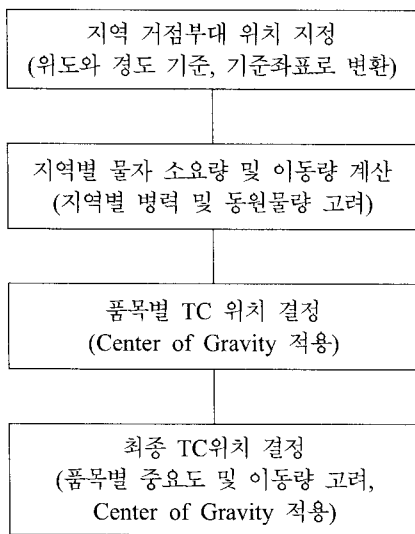
본 연구는 물류센터의 입지선정 문제를 이용하

여 효율적인 전시 동원물자의 분배와 수송 방안을 찾기 위한 목적에서 시작되었다. 전시 공군은 각 지역에 거점부대를 선정하여 해당 지역에서 동원되는 품목별 물자를 인수하고, 물자가 부족한 지역의 거점부대에 잉여물자를 분배하여 전체 부대가 일정한 군수지원 수준을 유지할 수 있도록 계획하고 있다. 또한, 지역 거점부대는 해당지역에 주둔하고 있는 군소 운영부대들에 대한 DC(Distribution Center)의 역할을 담당하여 지역에서 동원되는 물자들과 타 지역 거점부대로부터 인수한 해당 지역 부족물자를 군소 운영부대들에 분배한다. 하지만, 전시 물자수송은 물자가 많이 동원되는 지역의 거점부대가 물자가 부족한 거점부대에 대한 분배 및 수송을 책임지기 때문에 물자들의 생산특성에 따라 지역 거점부대별 수송부담의 불균형과 다빈도 수송으로 인한 수송 자산(병력, 수송수단)의 낭비를 가져오게 된다. 뿐만 아니라, 공군본부나 군수사령부와 같은 상급부대는 전체적인 동원물자의 분배와 수송을 효율적인 방향으로 조정 통제하는데 대한 어려움을 가지게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제들을 해소하기 위해 특정지역에 TC(Transfer Center)를 설치하여 물자를 환적하여 분배하는 방법을 제시하고자 한다. 만약 전시 동원물자의 분배와 수송을 위해 TC를 설치하여 운영하게 된다면 지역 거점부대들은 대량수송이 가능한 수송방편을 이용하여 물자를 수송하게 되므로 수송자산을 절약할 수 있게 되어 전시 기본 임무와 군소 운영부대들에 대한 물자의 분배 및 수송에 전념할 수 있을 것이며, 공군본부나 군수사령부와 같은 상급부대는 전시 동원되는 수송자산(항공기, 차량, 병력)을 TC 또는 적절한 지역에 배치·운용함으로써 지역 거점부대들의 부담을 경감시켜 줄 수 있을 뿐 아니라, 각 지역별 물자수송에 문제가 있을 경우 조정·통제가 용이하게 될 것이다.

## 1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서 제시하는 방법은 먼저 위도와 경도를 기준으로 하여 지역 거점부대의 위치를 지정하여 계산을 위한 기준 좌표로 변환한 후, 지역별 주둔 병력과 동원물량 및 지역별 물자 소요량을 고려하여 품목별 TC의 위치를 결정하고, 품목별 중요도와 이동량을 고려한 가중치를 적용하여 최종적인 TC를 결정하는 순서이다.



〈그림 1〉 TC 선정을 위한 방법론

일반적인 물류센터 입지선정문제의 가장 큰 고려요소는 물자의 이동량과 거리에 따른 물자의 수송비용이다. 하지만 종합적인 물류센터의 위치를 고려함에 있어서 물자특성은 매우 중요한 고려요소로 볼 수 있다. 예를 들어 종합 물류센터에서 취급하는 특정 물자의 유통기한이 매우 짧은 경우, 물자가 고가이거나 위험물이어서 물자별 수송요율이 다른 경우 등은 다른 일반물자에 비해 입지선정에 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 동원물자의 분배와 수송은 전시라는 특수한 상황에서 이루어지기 때문에 물자별 특성은 반드시 고려되어야 하는 요소이고, 군에서 정책적인 고려를 통해 판단

되어야 한다. 본 연구에서 각각의 물자별 TC를 별도로 선정하고, 각 물자별 TC를 근거로 최종 TC를 선정함에 있어서 물자별 중요도를 고려한 모형을 제시한 것도 바로 이런 이유 때문이다.

본 연구에서는 군사목적으로 인하여 실제 군사자료를 활용할 수가 없으므로 가상적인 환경을 설정하기 위해 지역별 인구나 광역시청 및 도청의 위치 그리고 우리나라에서 생산되는 8가지 곡물에 대한 지역별 생산량을 현재 군의 동원물자 운용과 유사한 형태로 변형하여 TC선정에 대한 방법론을 제시하게 된다.

## 2. 동원물자 및 지역 거점부대

### 2.1 동원물자의 의미와 특성

미래의 전쟁은 발달된 정보기술과 첨단화된 무기체제로 이루어 볼 때 국가의 모든 자원이 동원되는 총력전(Total War)이며 국력이 결집된 경제전의 양상이 될 것으로 전망된다. 이러한 대량 소모전의 양상은 전 국가의 인적·물적 자원을 효율적으로 동원하거나 국가 경제력을 집중하지 않으면 안 될 총력전 태세를 요구하고 있으며 이러한 이유로 유사시 예비전력의 효율적인 동원집행이 전쟁의 승패를 가름하게 될 것으로 판단된다. 우리가 잘 아는 바와 같이 대부분의 국가들이 국방비 등 국가의 안보비용을 줄이는 대신 국민의 복리증진과 국가의 경제발전을 위한 투자를 증대시켜 가고 있다. 즉 상비전력은 소수정예화하면서 유사시 예비전력을 극대화하는 것이 일반적인 추세로 볼 수 있으며, 동원전력의 중요성이 강조되는 중요한 이유이기도 하다[4,6].

동원전력은 크게 인원동원과 물자동원으로 구분할 수 있는데, 인원동원은 유사시 전쟁에 필요한 병력이나 인력을 충원하는 개념이고, 물자동원은 전시 중단 없는 군수지원을 보장하기 위한 지속적인 물자의 보충을 의미한다. 이 중 물자동원

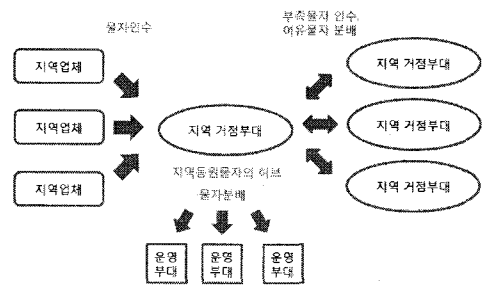
은 현대전의 특성이 대량 소모전이라는 점에서 볼 때 그 중요성이 더욱더 강조되어야 한다. 물자동원 대상은 매우 광범위하며 오늘날 고도의 산업화와 최신무기의 발달로 더욱 확대되어 가고 있는 추세이다. 우리나라 동원대상물자의 범위는 “비상대비자원관리법”에서 규정하고 있다. 물자동원은 크게 자동차와 선박, 항공기 등 수송자산에 대한 수송동원, 토지·건물 및 중장비 등의 건설자산에 대한 건설동원, 통신회선·장비·업체에 대한 통신동원 그리고 전시지속능력을 보장하는 대부분의 물자(무기, 식량 및 식품, 피복, 각종 자재 및 공산품, 유류)에 대한 산업동원으로 구분된다[6]. 이 중 본 연구에서 대상으로 삼고 있는 동원물자라 함은 지역 간 물자의 이동이 이루어지고, 실제 물자동원 중 가장 큰 비중을 차지하는 산업동원물자(이하 동원물자)를 의미한다. 일반적으로 수송동원, 건설동원, 통신동원은 동원소요가 개전초기에 집중되어 있는 반면 산업동원은 지속적인 물자의 보충이 이루어져야 하기 때문에 계획기간 동안 꾸준히 물자를 동원하게 된다. 산업동원의 계획기간은 통상 1년으로 시기별로 품목별 세부 물량이 지정되어 있으며 그 양은 공군을 기준으로 수십만 톤에 이른다.

동원물자는 일반 물자의 배송과는 다른 특성들을 가지고 있기 때문에 동원물자의 특성에 대한 이해는 본 연구의 흐름을 파악하는데 매우 중요한 부분이다. <표 1>에서 제시하는 바와 같이 동원물자는 일반물자와 달리 수요는 고정되어 있는 상

태에서 공급(생산)지의 위치와 공급(생산)량의 변화에 따라 이동하는 물량과 물자를 공급하거나 공급받는 지역이 변화하는 형태의 분배시스템을 가지고 있다.

## 2.2 지역 거점부대

군에서는 인수부대라고 부르는 지역 거점부대는 전시 군수소요의 충족을 위해 광역시장이나 도시사의 책임 하에 업체의 장으로부터 동원물자를 인수받고, 인수받은 동원물자 중 해당지역의 소요물량을 제외한 잉여물자를 타 지역 거점부대로 수송하는 역할을 담당하는 부대를 말한다. 여기서 지역별 수요 및 인도량은 사전 계획을 통해 결정된다. 또한 지역 소요물량 중 해당지역의 군소 운영부대(지역 거점부대에서 물자를 공급받아서 운영만 하는 부대)에 대한 분배 및 수송책임 역시 지역 거점부대의 임무 중 하나이다[1,2].



<그림 2> 지역 거점부대 운영 개념

<표 1> 일반물자와 동원물자의 비교

일반물자	동원물자
특정지역에 생산 시설이 위치하기 때문에 물자를 공급하는 지역이 일정하다.	각 지역별 생산 특성에 따라 물자의 생산량이 다르기 때문에 물자별로 물자를 공급하거나 공급받는 지역이 변화한다.
환적센터 선정에 위한 중심점은 물자의 이동량을 고려하여 거리에 따른 전체 물자의 수송요율을 최소화할 수 있는 지점이다.	환적센터 선정에 위한 중심점은 물자의 이동량 뿐 아니라 각 물자의 특성에 따른 중요도도 크게 작용한다. (예) 중요도 : 무기 > 식량 > 피복)
지역적 특성에 따른 선호의 차이로 인해 지역별 1인당 소요량 및 총 소요량이 다르다.	부대별 또는 개인별로 일정량이 지급되기 때문에 소요량은 대부분 병력이나 부대규모 비례한다.

물류센터는 배송권역에 따라 광역물류센터와 지역물류센터로, 운영방법에 따라 TC(Transfer Center)와 DC(Distribution Center)로 구분된다. 배송권역에 따른 분류로 광역물류센터는 전 품목을 집약하여 분산하는 기능을 가지는 대규모 물류센터이고, 지역물류센터는 회전율이 높은 품목을 주로 보관하며 배송기능을 가진 중소 물류센터이다. 운영방법에 따른 분류로 TC는 상품이 입고된 뒤 분류과정만을 거쳐 필요한 지점에 즉시 보내는 형태를 가진 물류센터이고 DC는 상품을 일시 보관한 뒤 필요한 시기에 공급하는 방식을 적용하는 물류센터를 의미한다[5]. 지역 거점부대는 광역물류센터와 DC로서의 기능을 수행한다.

같아야 한다. 공급지를 기준으로 본다면  $B_{s1}$ 의 공급물량은  $B_{d1}$ ,  $B_{d2}$ ,  $B_{d3}$ 의 수요를 충족하며, 그에 따른  $B_{s1}$ 의 수송물량은  $t_1$ 이 된다. 마찬가지로  $B_{s2}$ 의 수송물량은  $t_2$ ,  $B_{s3}$ 의 수송물량은  $t_3$ 이 된다. 여기서  $B_{d5}$ 의 경우 하나의 공급지에 의해 수요가 충족되지 못하기 때문에  $B_{s2}$ 와  $B_{s3}$ 에서 물자를 공급받아 자체 수요를 충족하게 된다.

분배 모형식에서 고려해야하는 요소들은 각 거점부대간 거리, 수요량, 공급량, 그리고 수요지와 공급지를 어떻게 연결할지에 관한 것들이다. 지금까지 동원물자의 분배는 담당자의 정책적 판단과 직관에 의해서 수행되어 왔으나, 경제성을 고려한다면 ton-km을 최소화할 수 있는 다음과 같은 모형식으로 설계할 수 있다.

### 3. 전시 분배모형과 TC의 필요성

#### 3.1 전시 동원물자의 분배모형

현재 군에서 적용하고 있는 동원물자의 동원 및 분배개념을 <그림 3>으로 도식화하였다. 어떤 특정 동원물자가 3개 지역에서 해당지역의 수요를 충족하고 타 지역에 대한 분배 및 수송 수요가 생겼다고 가정하자. 전체 공급량과 수요가 같기 때문에  $B_{s1}$ ,  $B_{s2}$ ,  $B_{s3}$ 에서 공급하는 물량의 합은  $B_{d1}$ ,  $B_{d2}$ ,  $B_{d3}$ ,  $B_{d4}$ ,  $B_{d5}$ ,  $B_{d6}$ ,  $B_{d7}$ 의 수요량의 합과

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} s_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

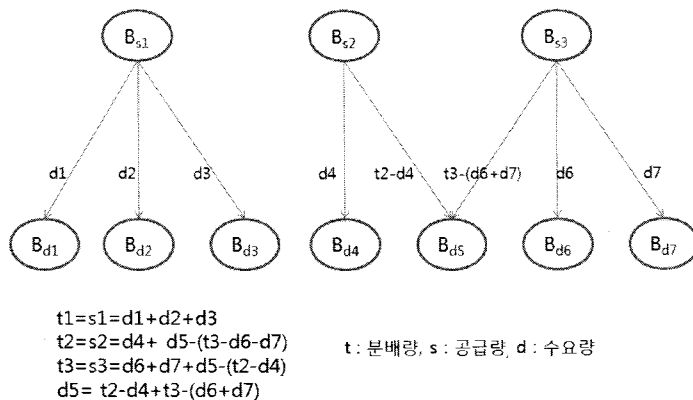
s.t

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} = \sum_{j=1}^m d_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n s_{ij} x_{ij} = d_j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m s_{ij} x_{ij} = I_i \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 또는 } 1 \quad (5)$$



<그림 3> 동원물자의 분배 개념도

여기서

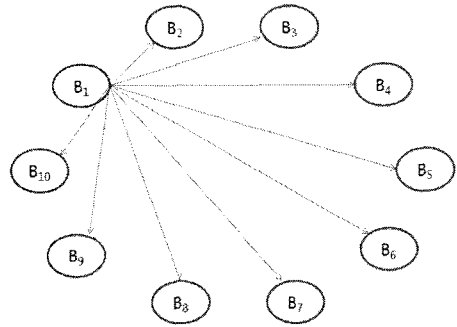
- $c_{ij}$  : 공급지 i에서 수요지 j까지 거리
- $s_{ij}$  : 공급지 i에서 수요지 j에 공급되는 물량
- $d_j$  : 수요지 j의 수요량
- $I_i$  : 공급지 i에 도입되는 동원물량
- $x_{ij}$  : i지에서 j지로 물자가 공급되면 1, 그렇지 않으면 0

식 (1)은 목적식으로 ton-km을 최소화하는 것을 의미하며, 공급지 i에서 수요지 j에 공급되는 물량  $s_{ij}$ 와 공급지와 수요지의 연결에 대한  $x_{ij}$ 가 변수이므로 Non-linear programming이 된다. 식 (2)는 제약식으로 각 수요지에 공급되는 공급량의 합과 수요량의 합이 같음을 의미하며, 식 (3)은 각 수요지 j에 공급되는 공급량의 총합과 j의 총수요와 같음을 의미한다. 식 (4)는 i공급지에서 각 수요지로 공급되는 공급량의 합은 기지 i로 동원되는 총량과 같음을 의미하고, 식 (5)는 정수조건식이다.

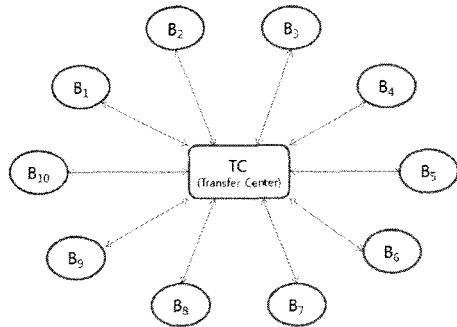
### 3.2 TC 선정의 필요성

3.1의 분배모형은 현재 개념처럼 품목별로 공급처가 되기도 하고, 수요처가 되기도 하는 지역 거점부대에 지역 간 물자수송에 대한 책임이 있는 경우에 적합한 형태이다. 이는 서론에서 소개한 바와 같이 지역거점부대의 임무를 가중시킬 뿐만 복잡한 물자분배의 네트워크를 구성해야하는 단점을 가지게 된다. <그림 3>에서는 3개의 공급처와 7개의 수요처로 인하여 8개의 분배 네트워크가 구성되었지만, 실제 수백 품목의 물자가 대상이 되는 지역 간 물자 수송을 고려하면 모든 지역 거점부대들이 공급처가 되기도 하고 수요처가 되기도 하기 때문에  $n \times (n-1)$ 개의 단방향 분배 네트워크가 구성된다. 하지만 TC를 선정하여 물자의 환적이 이루어지게 되면 품목수와 관계없이 새로운 TC를 건설하는 경우 n개, 기존의 시설물이 이

용하는 경우는 n-1개의 쌍방향 네트워크로 단순화되어 중앙집권적인 조정 통제가 용이해질 뿐만 아니라 수송자산(수송방편, 병력)을 절약할 수 있게 되어 물자의 분배 및 수송에 효율을 기할 수 있는 방법으로 볼 수 있다. <그림 4>와 <그림 5>는 분배모형을 적용하였을 경우와 TC를 선정하여 운영하였을 경우의 네트워크 형태를 도식화한 그림이다.



<그림 4> 분배모형에 의한 네트워크 형태 (B1의 경우, 나머지 9개는 예시는 생략)



<그림 5> TC 운영에 따른 네트워크 형태

## 4. 모형식

### 4.1 품목별 TC 선정을 위한 모형식

물류센터의 위치선정과 관련한 문제는 기업의 입장에서 볼 때 장기적인 영향을 주기 때문에 정략적인 의사결정이다. 따라서 의사결정에 고려해

야 할 요인도 많을 뿐만 아니라 진행과정에서도 신중한 검토가 이루어져야 한다. 일반적으로 공급 체인의 네트워크는 공급자, 생산공장, 창고 및 물류센터, 고객으로 구성되어진다. 이러한 네트워크 상의 중심이 되는 연결점이 물류센터이며, 물류센터의 위치에 따라 수송비용과 보관비용 등 총비용에 장기적으로 영향을 미치게 된다[3,5,9].

물류센터의 입지를 결정하는 해법은 응용수학과 컴퓨터가 보편화되면서 개념적인 것보다는 수학에 기초하고 있다. 이러한 입지를 결정하는 해법에는 최적 무게 중심법(Center of Gravity), 그리드 해법(Grid Method), 중심해법(Centroid Method) 또는 p-중앙값 해법(p-median Method) 등이 사용된다[3,15]. 본 연구에서는 입지선정에 가장 보편적으로 사용되는 기법인 최적 무게 중심법을 이용하였으며, 최종 TC의 위치를 결정함에 앞서 품목별 TC를 선정하는 이유는 각 품목의 고유한 특성(중요도)를 고려하기 위한 사전 작업이다. 본 연구에서 사용된 품목별 최적 무게 중심을 찾는 모형식은 다음과 같다.

$$\text{Min } C = \sum_i V_i d_i \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i X_i / d_i}{\sum_i V_i / d_i} \quad (7)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i / d_i} \quad (8)$$

$$d_i = \sqrt{[(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2]} \quad (9)$$

여기서

$C$  : 품목별 총 운송비용(ton-km)

$V_i$  : 지역간 이동물량

(타 지역으로 수송, 타 지역에서 인수)

$d_i$  : 시설에서  $i$ 지점까지 거리

$\bar{X}, \bar{Y}$  : 시설위치의  $x, y$  좌표

$X_i, Y_i$  : 공급지와 소비지 위치의  $x, y$  좌표상의 값

식 (6)은 동원물자 중 특정 품목을 수송하는 총 운송비용을 최소화하는 목적식이며, 군 자체 능력으로 물자를 수송하기 때문에 일반 최적 중심해법에서 적용하는 수송비는 고려하지 않았다. (7)과 (8)은 중심점 좌표를 구하는 수식이며, (9)는 중심지와 지점  $i$ 간의 거리를 구하는 공식이다. 이상의 공식을 이용하여 두 지점의 위치를 구하기 위해서는 다음 몇 단계의 계산과정을 거친다.

- ① 각 공급지와 수요지에 대한  $X, Y$  좌표와 지역 간 이동물량을 결정한다.
- ② 공식 (7)과 (8)에서 거리  $d_i$ 를 제외하고 초기 입지를 추정한다.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i X_i}{\sum_i V_i} \quad (10)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i Y_i}{\sum_i V_i} \quad (11)$$

- ③ 단계 ②에서 구한  $\bar{X}, \bar{Y}$ 를 이용하여  $d_i$ 를 계산한다.
- ④ (7)와 (8)에 단계 ③에서 구한  $d_i$ 를 대입하여 수정된  $\bar{X}, \bar{Y}$ 의 좌표를 구한다.
- ⑤ 수정된  $\bar{X}, \bar{Y}$ 의 좌표를 이용해서  $d_i$ 를 다시 계산한다.
- ⑥  $\bar{X}, \bar{Y}$ 의 좌표가 이전 좌표 값과 차이가 없을 때까지 단계 ④와 ⑤의 과정을 되풀이 한다.
- ⑦ 식 (6)을 이용해서 최적입지에 대한 총비용을 계산한다.

이러한 7단계의 계산과정을 거치면 각 품목별 최적 TC를 구할 수 있다.

## 4.2 최종 TC 선정을 위한 모형식

최종 TC 선정을 위한 모형식 또한 최적 무게 중심(Center of Gravity)해법을 적용하였으며, 물자별 중요도와 각 물자의 이동량에 대한 고려가 가능하도록 모형식을 구성하였다.

$$\text{Min } TC = \sum_g (rK_g + (1-r) \frac{M_g}{TM}) d_g \quad (12)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_g (rK_g + (1-r) \frac{M_g}{TM}) X_g / d_g}{\sum_g (rK_g + (1-r) \frac{M_g}{TM}) / d_g} \quad (13)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_g (rK_g + (1-r) \frac{M_g}{TM}) Y_g / d_g}{\sum_g (rK_g + (1-r) \frac{M_g}{TM}) / d_g} \quad (14)$$

$$d_g = \sqrt{[(X_g - \bar{X})^2 + (Y_g - \bar{Y})^2]} \quad (15)$$

여기서

$TC$  : 총 비용

$K_g$  : 전체 품목 중에 품목  $g$ 가 차지하는 중요도 (비율)

$M_g$  : 품목  $g$ 의 이동량

$TM$  : 전체 품목의 총 이동량

$r$  : 품목별 중요도와 이동량 간의 가중치 비율

$d_g$  : 시설에서 품목  $g$ 의 중심지점까지 거리

$\bar{X}, \bar{Y}$  : 시설위치의  $x, y$  좌표

$X_g, Y_g$  : 품목별 중심점 위치의  $x, y$  좌표상의 값

식 (12)는 모든 동원 품목을 고려하였을 때 경우 총비용을 최소화하기 위한 목적 식이며, 물자의 특성에 따라 각 품목이 차지하는 중요도와 이동량에 대한 가중치를 적용할 수 있도록 구성하였다. 식 (13)과 식 (14)는 중심점 좌표를 구하는 수식이며, 식 (15)는 중심지와 품목  $g$ 의 중심지 간의 거리를 구하는 공식이다. 이상의 공식을 이용하여

3.1과 동일한 계산과정을 거치면 최종 TC의 좌표를 구할 수 있다.

## 5. 적용예제

연구를 진행함에 있어서 군사보안 상의 이유로 실제 자료 사용에 대한 제약이 있기 때문에 현재 국가통계포털에서 제공하고 있는 통계자료를 군의 동원물자 운용과 유사한 형태로 변형하여 적용하였다.

<표 2> 실제 자료와 모형식 적용을 위한 자료

실제 자료	모형식 적용을 위한 자료
지역별 주둔 병력	지역별 인구
지역 거점부대	광역시청과 도청의 위치
품목별 지역별 동원량 및 소요량	지역별 주요 곡물 생산량 및 소요량

### 5.1 위치 좌표 확인 및 기준 좌표로 변환

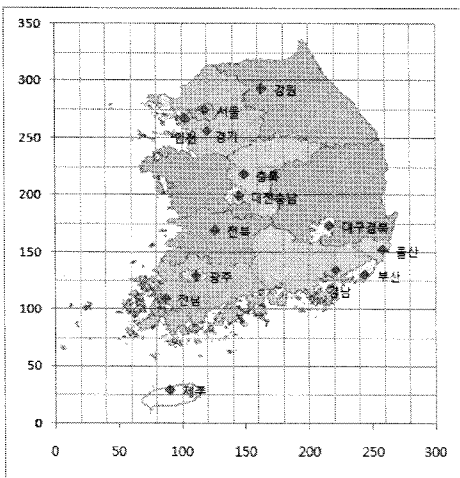
앞서 설명하였듯이 실제로 사용해야 하는 자료는 지역별 거점부대의 좌표상의 위치이지만, 군사보안 상의 이유로 사용하지 못하는 자료이기 때문에 광역시청과 도청의 위치를 기준으로 한 좌표를 사용하였다. 행정구역 중 대구경북과 대전충남은 광역시에 도청과 광역시청이 위치하고 있어서 먼저 존재해 있었던 도청 위치를 기준으로 통합 적용하였다. 위치좌표는 구글어스에서 확인하여 기준좌표로 변환하였다.

기준좌표는 동경125도와 위도 33도를 기준점 0으로 정하고, 나머지 부분을 환산하였으며, 경도와 위도를 기준으로 한 모든 좌표는 분 단위로 표현하여 나타내었다(예 : 서울 경도 1도 58분 → 118분, 위도 4도 34분 → 274분). <그림 6>은 14개 주요지점에 대한 기준좌표의 개략적인 위치이다.



〈표 3〉 지역별 시도청 위치와 기준좌표(출처 : Google Earth)

구분	경도	위도	기준좌표(x)	기준좌표(y)
서울특별시	126도 58분 41초	37도 34분 01초	118	274
부산광역시	129도 04분 28초	35도 10분 49초	244	130
대구경북	128도 36분 02초	35도 53분 35초	216	173
인천광역시	126도 42분 15초	37도 27분 22초	102	267
광주광역시	126도 51분 05초	35도 09분 36초	111	129
대전충남	127도 25분 15초	36도 19분 37초	145	199
울산광역시	129도 18분 37초	35도 32분 26초	258	152
경기도	127도 00분 34초	37도 16분 29초	120	256
강원도	127도 43분 46초	37도 53분 06초	163	293
충청북도	127도 29분 29초	36도 38분 08초	149	218
전라북도	127도 06분 32초	35도 49분 13초	126	169
전라남도	126도 27분 44초	34도 49분	87	109
경상남도	128도 41분 28초	35도 14분 14초	221	134
제주도	126도 29분 53초	33도 29분 2초	90	29



〈그림 6〉 14개 지점 위치 및 좌표

## 5.2 지역별 물자 소요량 및 이동량 계산

지역별 물자 소요량은 5.1의 14개 지역을 대상으로 계산하였다. 전시 지속능력을 보장하기 위한 동원물자의 경우 대부분이 부대별 또는 개인별로 일정량이 지급되기 때문에 지역별 주둔 병력을 기준으로 한 물자의 분배가 이루어지고, 지급되는 각각의 품목은 지급기준이나 1인당 소요량이 상이하기 때문에 전체 물자의 소요량은 각 품목별로 다르게 나타난다. 이러한 특성을 고려하여 물자의

분배 기준은 각 시도별 인구비율을 적용하였다. 또한, 각 품목들은 우리나라에서 생산되는 8가지 곡물을 기준으로 하였는데, 이는 총 생산량이 서로 다르고 곡물별 생산지역과 지역별 생산량이 다르게 나타나기 때문에 품목별로 물자의 공급지와 수요지가 변화하는 동원물자의 패턴과 유사한 형태를 가지기 때문이다. 곡물생산량을 동원물자로 적용함에 있어서 다음과 같은 가정을 적용한다.

- ① 각 품목의 1인당 지급기준량은 같기 때문에 인구비율에 따라 지역별 소요량이 결정된다.
- ② 물자의 생산과 소비는 국내에 한정하고, 수입과 수출은 고려하지 않는다.
- ③ 품목별 생산량 차이는 개인별 지급기준량의 차이로 본다.

<표 4>는 시도별 인구 및 인구비율과 2007년 8가지 곡물의 지역별 생산량이며 곡물에 따라 생산지와 생산량이 계속 변화함을 알 수 있다. 이러한 지역별 생산량과 인구를 기준으로 각 곡물의 지역별 소요량을 산출하여 잉여분은 다른 지역으로 보내고, 부족분은 다른 지역에서 도입하게 되는데 각 지역별 유입과 유출량을 계산한 결과는 <표 5>와 같다.

〈표 4〉 시도별 인구비율 및 주요 곡물 생산량(출처: 국가통계포털)

구분	인구	인구비율	조	수수	옥수수	메밀	겉보리	쌀보리	맥주보리	밀
계	47,041,434	1.000	1,356	2,664	83,513	2,447	22,376	76,856	69,659	7,351
서울특별시	9,762,546	0.208	0	0	46	0	0	0	0	0
부산광역시	3,512,547	0.075	1	0	280	6	3	0	0	0
대구경북	5,050,735	0.107	108	264	4,813	679	6,621	816	0	57
인천광역시	2,517,680	0.054	11	28	485	3	113	348	0	0
광주광역시	1,413,644	0.030	3	4	181	6	0	1,799	0	1,344
대전충남	3,317,968	0.071	4	21	1,170	47	179	126	0	7
울산광역시	1,044,934	0.022	0	0	252	13	82	0	0	0
경기도	10,341,006	0.220	30	36	6,616	21	75	325	0	0
강원도	1,460,770	0.031	195	719	34,447	393	518	0	0	60
충청북도	1,453,872	0.031	58	1,336	26,749	181	274	105	0	0
전라북도	1,778,879	0.038	10	98	1,950	199	5,559	31,384	583	1,674
전라남도	1,815,174	0.039	788	117	3,966	237	150	38,048	47,406	1,892
경상남도	3,040,993	0.065	81	41	2,467	394	8,802	3,588	11,751	2,317
제주도	530,686	0.011	67	0	91	268	0	317	9,918	0

〈표 5〉 지역별 곡물 이동량 (+ : 유입, - : 유출)

구분	조	수수	옥수수	메밀	겉보리	쌀보리	맥주보리	밀
서울특별시	281	553	17286	508	4644	15950	14456	1526
부산광역시	100	199	5956	177	1668	5739	5201	549
대구경북	38	22	4154	-416	-4219	7436	7479	732
인천광역시	62	115	3985	128	1085	3765	3728	393
광주광역시	38	76	2329	68	672	511	2093	-1123
대전충남	92	167	4720	126	1399	5295	4913	511
울산광역시	30	59	1603	41	415	1707	1547	163
경기도	268	550	11742	517	4844	16570	15313	1616
강원도	-153	-636	-31854	-317	177	2387	2163	168
충청북도	-16	-1254	-24168	-105	418	2270	2153	227
전라북도	41	3	1208	-106	-4713	-28478	2051	-1396
전라남도	-736	-14	-744	-143	713	-35082	-44718	-1608
경상남도	7	131	2932	-236	-7356	1380	-7248	-1842
제주도	-52	30	851	-240	252	550	-9132	83

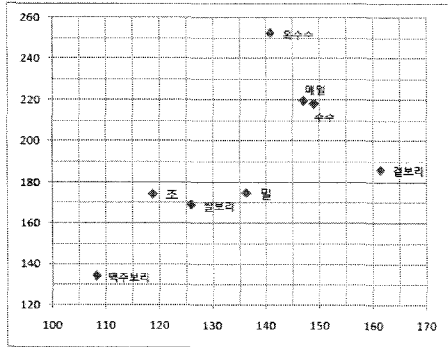
### 5.3 품목별 TC 위치 결정

<표 6>은 품목별 TC를 찾기 위해 4.1의 모형식을 C++로 구현하여 계산한 결과와 품목별 TC와 가장 가까운 시청이나 도청의 위치를 나타낸 것이다. 즉 새로운 시설물을 건설하는 경우는 현재의 x좌표와 y좌표에 의해 위치를 결정하고, 새로운 시설물의 건설이 여의치 않아 기존의 시설물

을 이용하는 경우는 가장 가까운 시청이나 도청을 품목별 TC로 결정할 수 있다. 결과에서 알 수 있듯이 품목별로 지역별 생산량과 이동량이 다르기 때문에 중심점 또한 서로 다르게 나타남을 알 수 있다. 각 지역별 거리를 km단위로 변환하기 위해 서울을 기준으로 위도길이는 1도당 111km, 경도 길이는 1도당 88.8km로 적용하여 품목별 중심점을 결정하였다.

〈표 6〉 품목별 TC의 위치

구분	조	수수	옥수수	메밀	겉보리	쌀보리	맥주보리	밀
center X	118.895	149	140.893	146.899	161.416	126	108.268	136.42
center Y	174.418	218.001	252.43	219.441	186.081	169	134.067	174.973
cost(ton-km)	218783	245748	8317160	339519	3105960	11181900	13776400	1180580
인접 시청·도청 (거리: km)	전라북도 (11.36)	충청북도 (0.00)	경기도 (25.88)	충청북도 (3.22)	대전충남 (26.60)	전라북도 (0.00)	광주광역시 (7.65)	전라북도 (15.06)



〈그림 7〉 품목별 TC의 위치 좌표

#### 5.4 품목별 중요도와 이동량을 고려한 최종 TC 위치 결정

품목별 중요도는 물자의 긴급도나 전쟁을 수행함에 있어서 어느 용도로 사용하는가에 따라 달라진다. 예를 들어 무기류, 식량류, 피복류가 있다면 우선 전투에 직접 사용되는 무기류는 중요도가 가

장 높을 것이고, 전쟁을 지속할 수 있는 능력을 보장하는 식량류는 다음의 중요도를 가질 것이며, 피복류는 가장 낮은 중요도를 가질 것이다. 실제 대상물을 적용할 수 없는 관계로 본 예제에서 물자의 중요도는 임의로 부여하였으며 <표 7>은 본 연구에서 적용한 8가지 곡물의 품목별 이동비율과 중요도이다. 최종 TC 위치를 결정함에 있어서 4.2에서 제시한 모형식을 근거로  $r$ (품목별 중요도와 이동비율간의 비율)값을 변화시키면서 좌표 값의 변화를 확인하였다. <표 8>은  $r$  값에 따른 각 물자의 가중치이다.  $r$ 이 0인 경우는 품목의 중요도는 전혀 고려하지 않고 이동량만을 고려한 경우이고,  $r$ 값이 증가된다는 의미는 품목별 중요도를 점점 더 많이 고려하는 경우로 볼 수 있다. <표 9>는  $r$ 값에 따른 중심점과 그에 따른 cost 및 가장 가까운 시청이나 도청의 위치를 계산한 결과이다.  $r$ 값에 따라 전체 품목을 고려한 TC의 위치와 cost가 변화함을 알 수 있다.

〈표 7〉 품목별 이동비율과 중요도

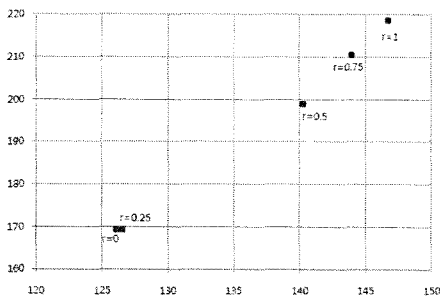
구분	조	수수	옥수수	메밀	겉보리	쌀보리	맥주보리	밀	계
이동량	1,913	3,808	113,530	3,128	32,574	127,120	122,197	11,939	416,209
이동비율	0.0046	0.0091	0.2728	0.0075	0.0783	0.3054	0.2936	0.0287	1
중요도	0.04	0.1	0.4	0.12	0.2	0.06	0.05	0.03	1

〈표 8〉 품목별 중요도와 이동비율에 대한 가중치 적용

구분	조	수수	옥수수	메밀	겉보리	쌀보리	맥주보리	밀
$r=0$	0.0046	0.0091	0.2728	0.0075	0.0783	0.3054	0.2936	0.0287
$r=0.25$	0.0134	0.0319	0.3046	0.0356	0.1087	0.2441	0.2327	0.0290
$r=0.5$	0.0223	0.0546	0.3364	0.0638	0.1391	0.1827	0.1718	0.0293
$r=0.75$	0.0311	0.0773	0.3682	0.0919	0.1696	0.1214	0.1109	0.0297
$r=1$	0.0400	0.1000	0.4000	0.1200	0.2000	0.0600	0.0500	0.0300

〈표 9〉 품목별 중요도와 이동비율에 따른 TC의 위치

구분	X좌표	Y좌표	cost	인접 시청/도청 (거리: km)
r=0	126	169	52.1929	전라북도 (0.00)
r=0.25	126.007	169.016	52.1982	전라북도 (0.02)
r=0.5	140.125	198.575	65.5346	대전/충남 (5.96)
r=0.75	143.735	210.775	72.2054	충청북도 (11.73)
r=1	146.51	218.609	76.9153	충청북도 (3.14)



〈그림 8〉 r 값에 따른 TC의 위치

## 6. 결론 및 향후 연구과제

전시 군수물자의 적기·적소·적시 배치는 전쟁 지속능력을 보장하고 나아가 전쟁의 승패를 좌우할 수 있는 매우 중요한 요소이다. 특히 전시 물자 중 가장 큰 비중을 차지하는 동원물자는 각각의 고유한 품목별 생산 특성이 있고, 품목별 생산 특성에 따라 공급지와 공급량이 다르게 나타나는 특징을 가지고 있다. 이러한 이유로 각 지역에서 동원되는 동원물량의 차이가 발생하게 되고 동원물자들의 지역 간 수송소요가 발생하게 된다.

본 연구는 지역 간 수송을 책임지고 있는 지역 거점부대의 부담을 경감시키고, 중앙에서의 조정 통제 뿐 아니라 동원되는 수송자산을 적소에 배치하여 운용성을 극대화 할 수 있는 군수물자의 TC 위치를 선정하기 위한 목적에서 시작되었다. TC

의 위치를 계산함에 있어서 각 품목이 갖는 중요도와 전체 이동량 중 해당물자가 차지하는 비중을 고려할 수 있는 방법을 제시하였고, 이러한 중요도와 이동량의 가중치 변화에 따라 TC 위치가 변화하는 것을 알 수 있었다.

연구를 진행함에 있어서 실제 자료를 사용하는 데 대한 제약 때문에 곡물생산이라는 예제를 통해 방법론만을 제시할 수밖에 없는 한계를 보여주었지만, 전시 동원되는 군수물자의 수송에 대한 연구의 시작점이 되고, 향후 연구방향을 제시할 수 있는 초석이 되기를 바란다.

## 참고문헌

- [1] 공군본부, 공군규정 3-260 물자동원, 2008.
- [2] 공군본부, 동원업무 실무지침서, 2008.
- [3] 김성태 외, 물류센터의 건설과 운영, 도서출판 범한, 2005.
- [4] 양병기, “정보화시대에 있어서의 북한의 군사정책과 한국국가동원체제의 발전방향,” 비상대비연구논총 제 28집, 2001.
- [5] 전일수 외, 물류센터 기획에서 운영까지, 도서출판 범한, 2007.
- [6] 최재경, “국가동원전력의 실효성을 보장하기 위한 방안 연구 -물자동원을 중심으로-,” 군사

- 논단, 제 50호, 2007.
- [7] 함용석, 김태영, 혼합정수계획법(MIP)을 이용한 H사(社)의 분배센터 운영 최적화 방안에 대한 연구, *대한경영학회지*, 제19권, 제6호, 2006.
- [8] Cohen, M. A., Fisher, M. and Jaikumar, R, "International Manufacturing and Distribution Networks: A Normative Model Framework," *Managing International Manufacturing*, North-Holland, Amsterdam, 1989.
- [9] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*, McGraw-Hill, 2008.
- [10] Ganeshan R., Boone T. and Stenger A. J., "The Impact of Inventory and Flow Planning Parameters on Supply Chain Performance: An Exploratory Story," *International Journal of Production Economics*, 71(1/3), 2001.
- [11] Geoffrion, A. M. and Graves, G. W, "Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition," *Management Science*, 20(5), 1974.
- [12] Herer, Y. T., Tzur M. and Dogan K, "Transshipment: An Emerging Inventory Recourse to Achieve Supply Chain Leagility," *International Journal of Production Economics*, 80(3), 2002.
- [13] Melachrinoudis, E., Messac A. and Min H, "Consolidating a Warehouse Networks: A Physical Programming Approach," *International Journal of Production Economics*, 97(1), 2005.
- [14] Mourits M. and Evers J. J. M, "Distribution Network Design: and Integrated Planning Support Framework," *Logistics Information Management*, 9(1), 1996.
- [15] Richard L. Francis, Leon F. McGinnis, jr., John A. White, *Facility Layout and Location: An analytical Approach*, Prentice-Hall, 1992.
- [16] Ross, A. D. and Droge C, "An Analysis of Operations Efficiency in Large-Scale Distribution System," *Journal of Operations Management*, 21(6), 2004.
- [17] Zhou G., Min H. and Gen M, "The Balanced Allocation of customers to Multiple Distribution Centers in the Supply Chain Network: A Genetic Algorithm Approach," *Computers & Industrial Engineering*, 43(1/2), 2002.
- [18] 국가통계포털, <http://www.kosis.kr>
- [19] Google Earth

## ■ 저자 소개 ■

### 정 병 호(E-mail: captjbh@naver.com)

1996 공군사관학교 산업공학과(학사)  
1999~2002 공군 군수사령부  
2002~2004 한양대학교 교통공학과(석사)  
2006~2007 공군본부  
현재 한양대학교 대학원 교통공학과 박사과정/공군소령  
관심분야 물류, 최적화, 네트워크분석, 의사결정

### 김 익 기(E-mail: ikkikim@hanyang.ac.kr)

1982 한양대학교 도시공학과(학사)  
1985 Michigan State Univ. 도시 및 지역계획(석사)  
1990 Northwestern Univ. 토목공학(박사)  
2008~현재 대한교통학회 부회장, 경기도 도시계획위원회 위원  
현재 한양대학교 공학대학 교통공학과 교수  
관심분야 교통수요분석, 교통체계분석, 네트워크분석